

Дата поступления рукописи в редакцию: 04.03.2026 г.
Дата принятия рукописи в печать: 07.04.2026 г.
DOI: 10.24412/3034-4042-2026-1-43-47

ХУСАИНОВА Алия Рамилевна,
магистрант,
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
e-mail: Alia2001_2011@mail.ru

КИЗИНА Ирина Дмитриевна,
кандидат технических наук, доцент,
Уфимский государственный нефтяной технический университет,
e-mail: kizina@nefteavtomatika.ru

ВАРИАНТ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ УСТАНОВКИ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ

Аннотация. Рассматривается вариант прогнозирования показателей качества продукции установки подготовки нефти (УПН) на основе линейного регрессионного анализа. Приведены требования к реализации работы модели прогнозирования в виде диаграммы потока данных при взаимодействии ЦД и АСУ ТП.

Ключевые слова: установка подготовки нефти, цифровой двойник показателей качества, линейный регрессионный анализ, диаграмма потока данных, SCADA-система, усовершенствованные системы управления.

KHUSAINOVA Aliya Ramilevna,
Master's Student,
Ufa State Petroleum Technological University

KIZINA Irina Dmitrievna,
PhD in Engineering, Associate Professor,
Ufa State Petroleum Technological University

OPTION OF DIGITAL TWIN OF PRODUCT QUALITY INDICATORS OF OIL PROCESSING UNIT

Annotation. A variant of forecasting the product quality indicators of an oil treatment plant based on linear regression analysis is being considered. The requirements for the implementation of the forecasting model in the form of a data flow diagram in the interaction of the data center and the automated process control system are given.

Key words: oil treatment plant, digital twin of quality indicators, linear regression analysis, data flow diagram, SCADA system, advanced control systems.

На сегодняшний день при оценке качества выпускаемой продукции УПН применяются лабораторные методы выявления показателей их качества. Однако такой способ определения состояния выходной продукции не позволяет в оперативном режиме повлиять на устранение потенциально возможных негативных случаев, оказывающих влияние на показатели качества. В силу этого необходимы решения, способные в оперативном режиме получить необходимые данные по показателям качества [1, с. 12].

Существует разнообразное количество решений, способных выполнять обработку данных и определять прогнозные значения технологических параметров объектов нефтегазовой отрасли. Они основаны на применении пакетов моделирования, программных средств, интегрированных с автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП).

Одним из методов прогнозирования решений является цифровой двойник, который представляет информационную модель объекта (процесса), с инструментами моделирования и обработки информации.

Предложен вариант решения по визуализации результатов расчетов цифрового двойника (ЦД) процесса подготовки нефти в SCADA-системе. Применена Master SCADA, способная реализовывать расчетные операции, в т. ч. на основе линейного регрессионного анализа.

В работах специалистов АСУ ТП, в том числе д.т.н., профессора А.П. Веревкина [1, с.13] и к.т.н. Т.М. Муртазина [2, с. 16] подтверждается, что ситуационное управление объектом с нелинейными процессами по показателям качества обеспечивается путём реализации формальных и эвристических моделей, в том числе построенных на основе линейного регрессионного анализа.

Интеграция ЦД и SCADA-системы многовариантно и зависит от того, каким образом осуществляются расчётные операции моделей ЦД. Существует множество решений и разрабатываются новые по реализации в АСУ ТП, что говорит о развитости направления усовершенствованных систем управления технологическим процессом [6, с. 16].

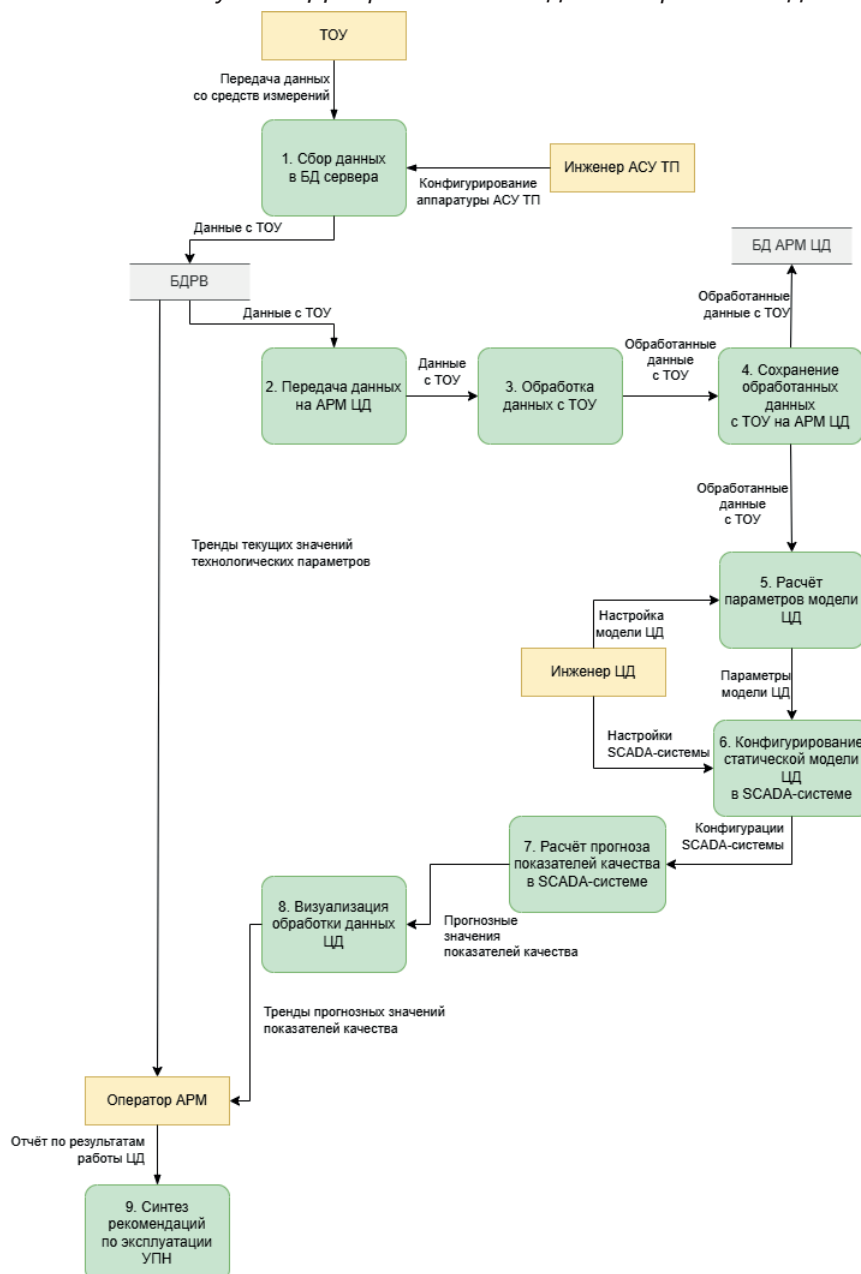
Интеграция цифрового двойника с действующей АСУ ТП является важным этапом развития для предприятий, подразумевающим постепенный переход к усовершенствованным системам управления [3, с. 12 – 13; 4, с. 38].

На рисунке 1 «Диаграмма потока данных при взаимодействии ЦД и АСУ ТП» приведен процесс передачи информации от технологического объекта управления (в дальнейшем, именуемый «ТОУ») к оператору АРМ через цифровой двойник. Зеленым цветом на диаграмме выделены основные действия на пути передачи данных,

желтым цветом выделен персонал и ТОУ, серым цветом выделены базы данных, позволяющие ЦД выполнять свою работу.

Измеренные значения основных показателей качества выпускаемой продукции сначала собираются и передаются от ТОУ, затем обрабатываются и сохраняются на разных аппаратных средствах. При поступлении на АРМ ЦД необходимо выполнить расчёт и передать обработанные данные для конфигурирования статической модели в действующей АСУ ТП. В соответствии с установленными требованиями необходимо, чтобы основные расчётные операции по выявлению параметров ЦД были выполнены отдельным программным обеспечением на базе автоматизированного рабочего места (АРМ) инженера ЦД. Конечная цель - синтез рекомендаций по эксплуатации УПН происходит на АРМ оператора – осуществляется за рамками работ ЦД.

Рисунок 1. Диаграмма потока данных при взаимодействии ЦД и АСУ ТП.



Исходные данные играют важную роль в процессах моделирования. Выборка должна быть качественной, точно описывать процесс, периодически обновляться для того, чтобы предотвратить нарастание ошибки [7, с. 38].

Построение модели ЦД выполняется на основе подготовленных параметров процесса подготовки нефти, показанных в таблице 1.

Обводненность, плотность, температура нефти и расход подаваемого деэмульгатора выбраны для моделирования в силу своей значимости для высокоэффективного протекания производственного процесса подготовки нефти.

Обводненность влияет на коррозию оборудования, низкую эффективность протекания процесса сепарации газа и твердых частиц, снижение стоимости выходной продукции.

Плотность является основным физико-химическим классификатором, параметром стоимости и качества нефти.

Температура подогрева оказывает влияние на вязкость и плотность нефти, разрушение стойких эмульсий.

Расход подаваемого деэмульгатора отвечает за рентабельность и качество протекаемого производственного процесса подготовки нефти.

Таблица 1. Исходные данные с УПН за 01.04.2024-03.04.2024 гг.

Временной шаг, ДД.ММ.ГГГГ ЧЧ:ММ:СС	Обводненность нефтяной эмульсии, поступающей на УПН, %	Температура нефтяной эмульсии, °С	Расход подаваемого на УПН деэмульгатора, г/т нефти	Обводненность нефти на выходе из установки, %	Лабораторные данные по плотности нефти, г/см3
01.04.2024 12:00:00	94,82	64,17	19,95	0,134	0,901
01.04.2024 12:30:00	93,95	64,36	20,03	0,122	0,902
01.04.2024 13:00:00	94,61	62,39	20,05	0,122	0,914
01.04.2024 13:30:00	94,93	62,98	20,09	0,134	0,901
01.04.2024 14:00:00	93,43	62,48	20,13	0,149	0,918
...	...	...	...	...	...
03.04.2024 13:00:00	93,71	63,05	19,95	0,133	0,901

Для построения модели цифрового двойника на основе метода регрессионного анализа предварительно был проведен корреляционный анализ исходных данных. Полученные значения были проверены с помощью шкалы Чеддока - параметр ρ (плотность нефти) связан с параметрами $n_{\text{вх}}$ (обводненность нефти на входе), T (температура), F (расход подаваемого деэмульгатора). Вычисленные коэффициенты корреляции колеблются от 0,127 до 0,228, что говорит о наличии связи между рассматриваемыми парами параметров.

Основная формула в регрессионном анализе $y(X_i, t) = \sum_{i=1}^n K X_i + K_0 + e_i$ (1.1) где X_i – величина входного сигнала в итерации i ;

t – время выполнения итерации i ;
 K_0 – член свободного коэффициента;
 e_i – ошибка наблюдений;
 K – коэффициент полиномов.

Стоит учитывать, что в рассматриваемом варианте будет три коэффициента связи K_1, K_2, K_3 , значения которых показывают влияние каждой независимой переменной на целевую переменную $y(X_i, t)$. K_0 отражает начальный уровень зави-

симой переменной при нулевых значениях всех независимых переменных.

Для вычисления коэффициентов используется метод наименьших квадратов:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - (k_1 x_{1,i} + k_2 x_{2,i} + k_3 x_{3,i} + k_0))^2 \quad (1.2)$$

Составляется и решается система уравнений, откуда находят искомые значения K_1, K_2, K_3 :

$$\begin{cases} \sum x_{1,i} y_i = \sum x_{1,i}^2 + k_2 \sum x_{1,i} x_{2,i} + k_3 \sum x_{1,i} x_{3,i} + k_0 \sum x_{1,i} \\ \sum x_{2,i} y_i = k_1 \sum x_{1,i} x_{2,i} + \sum x_{2,i}^2 + k_3 \sum x_{2,i} x_{3,i} + k_0 \sum x_{2,i} \\ \sum x_{3,i} y_i = k_1 \sum x_{1,i} x_{3,i} + k_2 \sum x_{2,i} x_{3,i} + \sum x_{3,i}^2 + k_0 \sum x_{3,i} \\ \sum y_i = k_1 \sum x_{1,i} + k_2 \sum x_{2,i} + k_3 \sum x_{3,i} + n k_0 \end{cases} \quad (1.3)$$

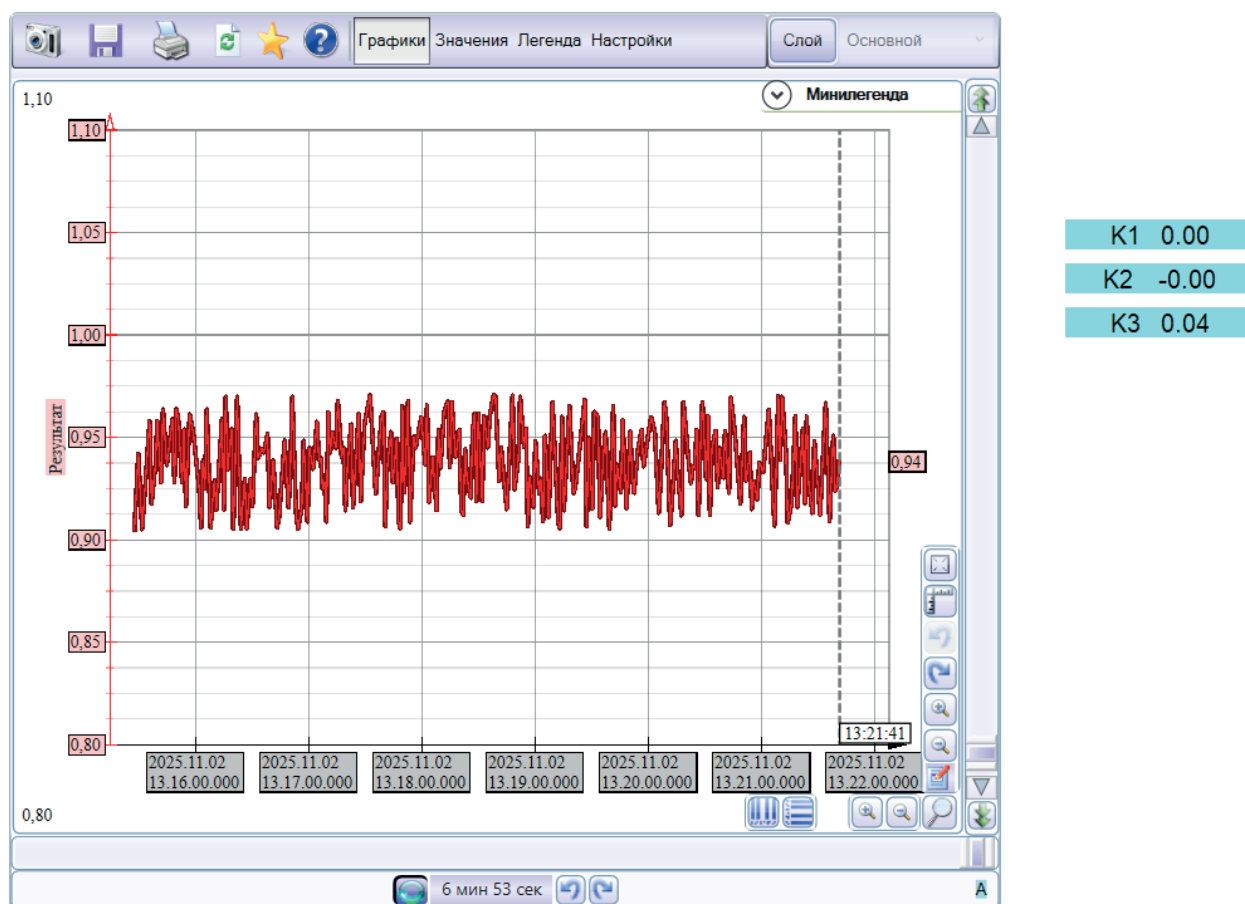
Для вычисления коэффициентов корреляции и уравнения регрессии использовалась программа Approx.exe, автором которой является Кирюшин Олег Валерьевич, к.т.н.

Пример тренда прогнозного значения плотности на выходе из установки изображены на рисунке 2. На тренде по оси X выводятся значения даты и времени выполнения замера параметра, по оси Y выводятся значения прогноза показателя качества нефти на выходе из установки.

Вычисленные значения коэффициентов регрессионного уравнения вводятся в SCADA-си-

стему для визуализации тренда прогнозного значения плотности нефти.

Рисунок 2. Пример тренда прогнозного значения плотности нефти.



Результаты моделирования являются информационной основой для выбора управленческих решений с целью минимизации негативных последствий лицом, принимающим решения.

Выводы и рекомендации

1. Апробирована работа цифрового двойника показателей качества установки подготовки нефти с использованием реальных данных с установки подготовки нефти. В цифровом двойнике достигнута синергия моделирования, временных рядов, диаграммы потока данных при взаимодействии ЦД и АСУ ТП (на примере АСУ ТП с использованием Master-SCADA).

2. Обработка данных выполнена с применением линейного регрессионного анализа.

Выходные значения, полученные в результате моделирования переданы в SCADA-систему для визуализации и принятия управленческих решений обученным персоналом в основной АСУ ТП (за пределами работы цифрового двойника).

3. Результаты показывают, что применение регрессионного анализа актуально для наращивания функций действующих систем за счет дополнительного модуля [5, с. 20-21]. Рекомендуется дальнейшее углубленное изучение влияния факторов внешней среды на моделируемые процессы и регулярное обновление обучающих выборок для поддержания адекватности и точности цифровой копии объекта исследования.

Список литературы:

- [1] Веревкин А.П. Оперативное управление процессом производства полиэтилена по показателю качества (индексу расплава) / А.П. Веревкин, Д.В. Калашник, М.Х. Хуснияров // Территория Нефтегаз. – М.: Камелот Паблишинг, 2013. – № 5. – С. 12-16.
- [2] Веревкин А.П. Адаптация моделей для оперативного управления технологическими процессами по технико-экономическим показателям / А.П. Веревкин, Т.М. Муртазин // Территория Нефтегаз. – М.: Камелот Паблишинг, 2016. – № 11. – С. 16-21.
- [3] Веревкин А.П. Моделирование производственных процессов на основе когнитивной информации и временных рядов / А.П. Веревкин, Т.М. Муртазин // Системная инженерия и информационные технологии. – Уфа: УУНИТ, 2022. – Том 4, № 1 (8). – С. 12-19.

[4] Веревкин А.П. Эмпирические модели для автоматизированных систем управления технологическими процессами: кластеризация и верификация данных, обеспечение робастности моделей / А.П. Веревкин, Т.М. Муртазин // Автоматизация и информатизация ТЭК. – М.: РГУ им. Губкина, 2025. – № 8 (625). – С.38-46.

[5] Веревкин А.П. Предиктивная аналитика: курс лекций / А.П. Веревкин. – Уфа, УГНТУ, 2021. – 86 с.

[6] Кизина И.Д. Усовершенствованное управление технологическими процессами нефтедобычи / И.Д. Кизина, Т.М. Муртазин // Автоматизация и информатизация ТЭК. – 2025. – № 4 (621). – С. 15-19.

[7] Пастухов, С.И. Управление данными для моделирования оценок волатильности / С.И. Пастухов // Финансовые рынки и банки. – М.: Русайнс, 2023. – № 6. – С.38-40.

References:

[1] Verevkin A.P. Operational management of the polyethylene production process based on quality indicators (melt index) / A.P. Verevkin, D.V. Kalashnik, M.Kh. Khusniyarov // Territory of Oil and Gas. - M.: Kamelot Publishing, 2013. - No. 5. - Pp. 12-16.

[2] Verevkin A.P. Adaptation of models for operational management of technological processes based on technical and economic indicators / A.P. Verevkin, T.M. Murtazin // Territory of Oil and Gas. - M.: Kamelot Publishing, 2016. - No. 11. - Pp. 16-21.

[3] Verevkin A.P. Modeling of production processes based on cognitive information and time series / A.P. Verevkin, T.M. Murtazin // Systems Engineering and Information Technology. - Ufa: UUNiT, 2022. - Vol. 4, No. 1 (8). - P. 12-19.

[4] Verevkin A.P. Empirical Models for Automated Process Control Systems: Data Clustering and Verification, Ensuring Model Robustness / A.P. Verevkin, T.M. Murtazin // Automation and Informatization of the Fuel and Energy Complex. - Moscow: Gubkin Russian State University, 2025. - No. 8 (625). - P. 38-46.

[5] Verevkin A.P. Predictive Analytics: Lecture Course / A.P. Verevkin. - Ufa, USPTU, 2021. - 86 p.

[6] Kizina I.D. Improved Control of Oil Production Technological Processes / I.D. Kizina, T.M. Murtazin // Automation and informatization of the fuel and energy complex. - 2025. - No. 4 (621). - P. 15-19.

[7] Pastukhov, S.I. Data management for modeling volatility estimates / S.I. Pastukhov // Financial markets and banks. - M.: Rusains, 2023. - No. 6. - P. 38-40.





ЮРКОМПАНИ
www.law-books.ru

Юридическое издательство «ЮРКОМПАНИ»
издает научные журналы:

- Научно-правовой журнал «Образование и право», рекомендованный ВАК Министерства науки и высшего образования России (специальности 12.00.01, 12.00.02), выходит 1 раз в месяц.
- Научно-правовой журнал «Право и жизнь», рецензируемый (РИНЦ, E-Library), выходит 1 раз в 3 месяца.